

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

## **МИКРОСТРУКТУРА, СВОЙСТВА И МАРКИРОВКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам  
«Материаловедение», «Основы материаловедения»  
для обучающихся технических направлений и специальностей

Составители В. В. Драчев  
К. П. Петренко

Утверждены на заседании кафедры  
Протокол № 4 от 09.12.2020  
Рекомендованы к печати  
учебно-методической комиссией  
направления подготовки 27.03.02  
Протокол № 4 от 09.12.2020  
Электронная копия находится  
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2021

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение классификации, микроструктуры, маркировки, свойств и области применения углеродистых сталей.

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

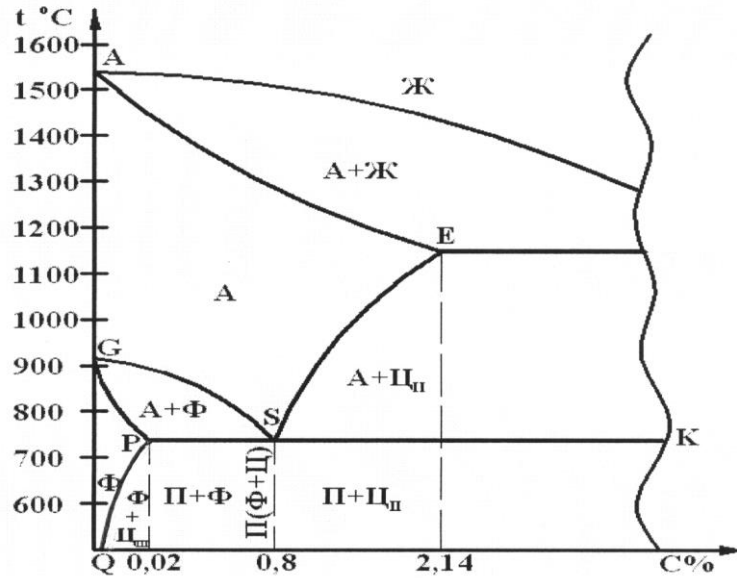
Углеродистые стали – это сплавы железа и углерода, содержащие не более 2,14 % углерода. Кроме этого стали содержат примеси: постоянные и случайные. К постоянным примесям относят марганец (до 0,8 %), кремний (до 0,4 %), серу (до 0,05 %), фосфор (до 0,04 %) и газы: азот, кислород и водород (тысячные доли процента). Их наличие обусловлено технологическими особенностями производства стали (марганец, кремний) или невозможностью полного удаления из металла (сера, фосфор, газы). Случайные примеси (хром, никель, медь и др.) попадают в сталь из-за того, что они содержатся в рудах данного географического района или связаны с определённым технологическим процессом производства.

### 2.1. Фазы и структурные составляющие в системе железо – углерод

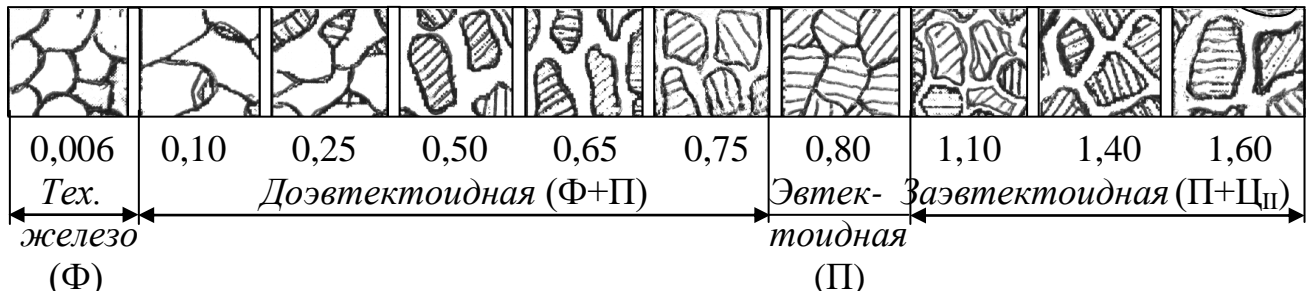
В системе железо – углерод различают следующие фазы: жидкий сплав, феррит, аустенит, цементит и графит (в сталях отсутствует).

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе. Кристаллическая решетка – кубическая объемно-центрированная. Феррит существует в области QPG диаграммы Fe – Fe<sub>3</sub>C (рис. 1, а). Максимальное содержание углерода в нём составляет 0,02 % при температуре 727 °С. При температуре 20 °С в феррите содержится 0,006 % углерода. Механические свойства феррита:  $\sigma_b = 250$  МПа,  $\delta = 50\%$ ,  $\psi = 80\%$ , 80–100 НВ.

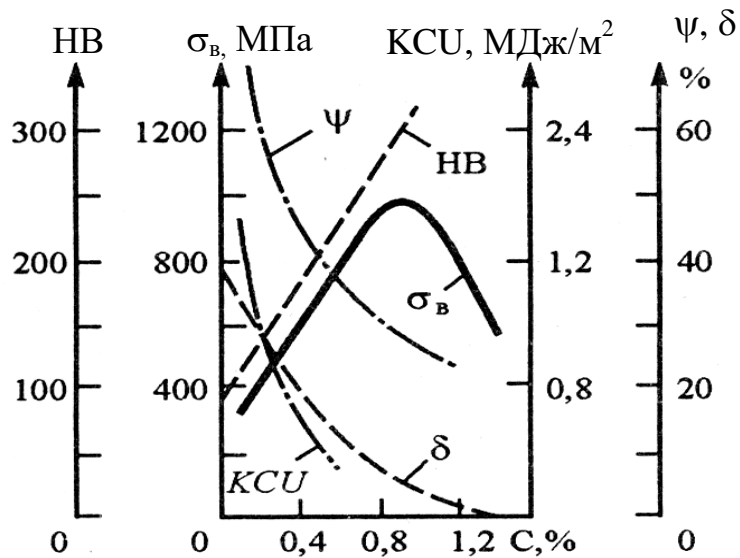
Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе. Решетка – кубическая гранцентрированная. Аустенит существует в области AESG (рис. 1, а). Максимальная растворимость углерода 2,14 % при температуре 1147 °С. Аустенит имеет следующие



а



б



в

Рис. 1. Часть диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C (а), микроструктура (б) и механические свойства углеродистых сталей в отожженном равновесном состоянии (в)

механические свойства:  $\sigma_b = 500 - 800$  МПа,,  $\delta = 50$  %, 160–200 НВ.

Цементит – химическое соединение железа с углеродом, карбид железа  $Fe_3C$ . Содержание углерода в цементите 6,67 %. Механические свойства:  $\delta = 0$  %, 800 НВ.

Структурные составляющие системы железо – углерод: перлит и ледебурит. В структуре сталей ледебурит отсутствует.

Перлит – эвтектоидная механическая смесь двух фаз: феррита и цементита. Образуется из аустенита при температуре 727 °С. Содержание углерода в перлите 0,8 %. Цементит, входящий в состав перлита, может иметь форму пластин и глобулей (зерен). Поэтому различают перлит пластинчатый и зернистый. Механические свойства пластинчатого перлита:  $\sigma_b = 820 - 900$  МПа,  $\delta = 15$  %, 180 – 220 НВ. Механические свойства зернистого перлита:  $\sigma_b = 630$  МПа,  $\delta = 20$  %, 160 НВ. Таким образом, зернистый перлит по сравнению с пластинчатым имеет пониженную твердость и прочность, но повышенную пластичность и вязкость.

## 2.2. Микроструктура углеродистых сталей

Углеродистые стали в соответствии с диаграммой Fe –  $Fe_3C$  (рис. 1, а, б) по содержанию углерода и по структуре подразделяют на доэвтектоидные (содержат 0,02 – 0,8 % углерода), эвтектоидные (0,8 % углерода), заэвтектоидные (0,8 – 2,14 % углерода). Сплавы, содержащие менее 0,02 % углерода, называются техническим железом.

Микроструктура технического железа – феррит.

Микроструктура доэвтектоидной стали состоит из феррита и перлита. С увеличением содержания углерода в стали количество перлита увеличивается. Содержание углерода в доэвтектоидной стали определяют по формуле

$$C = \frac{0,8F_{\Pi}}{100}, \quad (1)$$

где  $F_{\Pi}$  – площадь, занятая перлитом на шлифе, %;  
0,8 – содержание углерода в перлите, %.

При просмотре шлифа количество перлита определяют визуально методом сравнения с эталоном шкалы ГОСТ 8233–56 (рис. 2) либо методами количественной металлографии.

Микроструктура эвтектоидной стали – пластинчатый перлит.

Микроструктура заэвтектоидной стали состоит из пластинчатого перлита и вторичного цементита, который выделяется в виде сетки по границам перлитных зерен. Содержание углерода в заэвтектоидной стали можно определить по формуле

$$C = \frac{0,8F_{\text{П}} + 6,67F_{\text{Ц}}}{100}, \quad (2)$$

где  $F_{\text{П}}$  – площадь, занятая перлитом, %;

0,8 – содержание углерода в перлите, %;

$F_{\text{Ц}}$  – площадь, занятая цементитом, %;

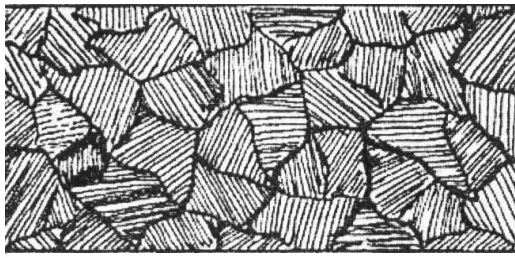
6,67 – содержание углерода в цементите, %.

### 2.3. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей

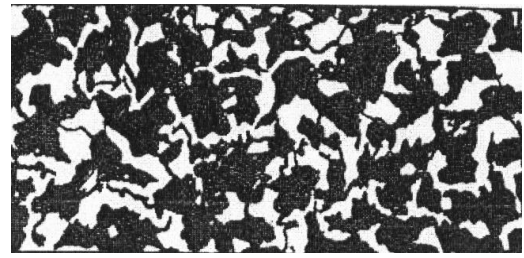
Углерод повышает твердость и прочность (при содержании до 1%), но снижает пластичность и вязкость стали (рис. 1, в). Он влияет и на технологические свойства. С увеличением содержания углерода снижается способность стали деформироваться в горячем и особенно в холодном состояниях, ухудшаются литейные свойства и свариваемость.

Марганец и кремний являются полезными примесями. Марганец повышает прочность стали, не снижая пластичности, увеличивает прокаливаемость, уменьшает красноломкость (хрупкость при высоких температурах). Кремний упрочняет сталь, но снижает её пластичность.

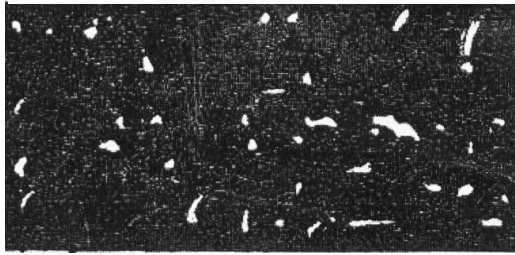
Сера, фосфор и газы (азот, кислород, водород) – вредные примеси. Сера снижает пластичность и вязкость стали, придаёт ей красноломкость, ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость. Фосфор также снижает пластичность и вязкость, вызывает хладноломкость стали (охрупчивание при пониженных температурах).



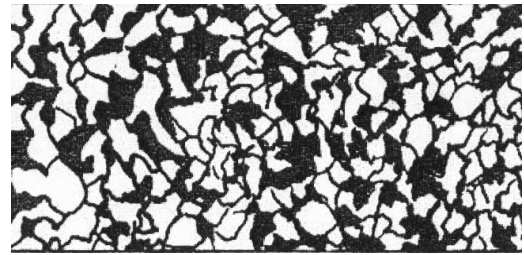
100 : 0



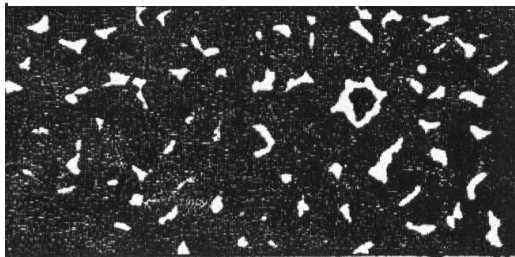
50 : 50



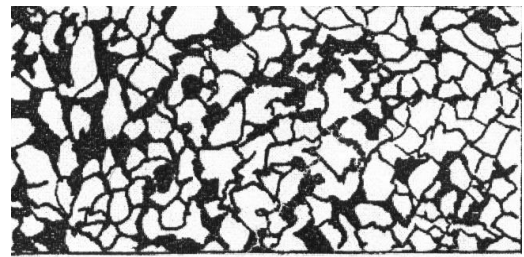
95 : 5



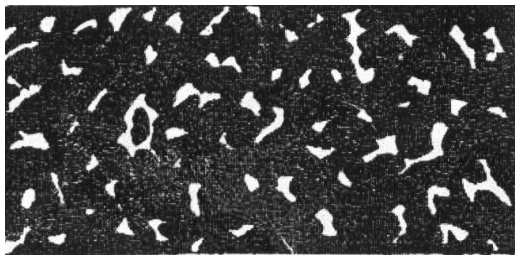
35 : 65



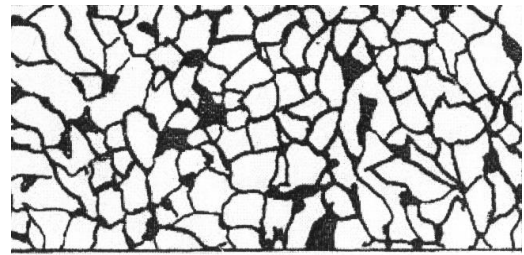
85 : 15



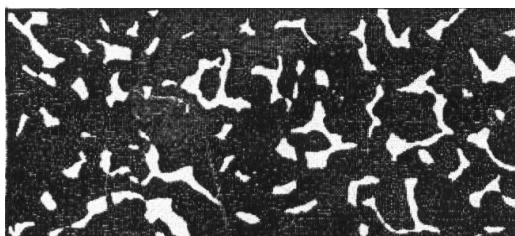
20 : 80



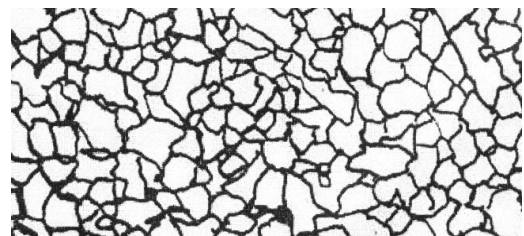
75 : 25



5 : 95



65 : 35



0 : 100

Рис. 2. Эталоны микроструктуры стали (ГОСТ 8233–56)

Вредное влияние газов проявляется в снижении пластичности и повышении склонности стали к хрупкому разрушению.

## 2.4. Классификация углеродистых сталей

Углеродистые стали классифицируют по содержанию углерода, качеству, способу производства, степени раскисления, структуре и назначению.

По содержанию углерода стали делят на низкоуглеродистые (содержат менее 0,3 % углерода), среднеуглеродистые (0,3 – 0,6 % углерода) и высокоуглеродистые (более 0,6 % углерода).

По качеству (содержанию вредных примесей: серы и фосфора) углеродистые стали классифицируют на стали обыкновенного качества (содержат не более 0,05 % серы и не более 0,04 % фосфора), качественные (не более 0,04 % серы и 0,035 % фосфора) и высококачественные (не более 0,025 % серы и 0,025 % фосфора).

По способу производства различают стали выплавленные в электропечах, мартеновских печах и в кислородных конвертерах.

По степени раскисления стали подразделяют на спокойные, полуспокойные и кипящие. Раскисление – процесс удаления из жидкой стали кислорода, который уменьшает её прочность, пластичность и вязкость. Спокойные стали получают полным раскислением марганцем, кремнием и алюминием. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газовыделения. Кипящие стали раскисляют только марганцем. В них содержится повышенное количество кислорода, который при затвердевании, взаимодействуя с углеродом, образует газ CO. Выделение пузырьков CO создает впечатление кипения стали. Спокойная сталь обладает лучшими свойствами, но является более дорогой. Полуспокойные стали (раскисляют марганцем и кремнием) занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

По структуре стали разделяют на доэвтектоидные (структура – феррит и перлит), эвтектоидные (перлит) и заэвтектоидные (перлит и цементит).

По назначению углеродистые стали делят на конструкционные (предназначены для изготовления деталей машин, конструк-

ций и сооружений) и инструментальные (для изготовления различного инструмента).

## **2.5. Маркировка углеродистых сталей**

### **2.5.1. Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества (ГОСТ 380–2005)**

Это самые дешевые конструкционные стали. В процессе выплавки они меньше всех очищаются от вредных примесей.

Стали обыкновенного качества маркируют буквами «Ст» (Сталь) и цифрами от 0 до 6, которые означают условный номер марки. Чем больше номер стали, тем больше в ней содержание углерода и, следовательно, выше прочность и ниже пластичность. Буква «Г» означает марганец при его содержании в стали более 0,8 %. Степень раскисления указывают буквами: «сп» – спокойная, «пс» – полуспокойная, «кп» – кипящая. Сталь Ст0 по степени раскисления не разделяют, в ней регламентируют только содержание углерода (не более 0,23 %), серы (до 0,06 %) и фосфора (до 0,07 %).

**Например:** Ст3кп – сталь углеродистая конструкционная обыкновенного качества, номер 3, кипящая.

Из сталей обыкновенного качества изготавливают горячекатаный прокат: балки, швеллеры, уголки, а также листы и трубы. Их широко применяют в строительстве для сварных, клепаных и болтовых конструкций, реже для изготовления малонагруженных деталей машин (валы, оси, звёздочки и т. д.).

### **2.5.2. Углеродистые конструкционные качественные стали (ГОСТ 1050–88)**

К таким сталям предъявляются более высокие требования по содержанию вредных примесей (серы не более 0,04 %, фосфора не более 0,035 %), а также по неметаллическим включениям. Качественные углеродистые конструкционные стали маркируют числами: 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60, которые указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента.



Степень раскисления обозначают: кипящую – «кп», полуспокойную – «пс», спокойную – без индекса.

**Например:** сталь 15 – углеродистая конструкционная качественная, содержит в среднем 0,15 % углерода, спокойная.

Качественные конструкционные стали широко применяют для изготовления самых разнообразных деталей машин во всех отраслях машиностроения.

### **2.5.3. Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435–99)**

Эти стали выпускаются качественными (содержание серы не более 0,028 %, фосфора не более 0,03 %) и высококачественными (серы не более 0,018 %, фосфора не более 0,025 %).

Углеродистые инструментальные стали маркируют буквой «У» (углеродистая) и числом, показывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента. Буква «А» в конце марки указывает на то, что сталь высококачественная. Буква «Г» означает повышенное содержание марганца (0,33–0,58 %).

**Например:** У10А – углеродистая инструментальная сталь, содержащая в среднем 1 % углерода, высококачественная.

Углеродистые инструментальные стали используют для изготовления деревообрабатывающих, слесарных и измерительных инструментов (топоры, зубила, отвертки, калибры простой формы), небольших штампов холодной высадки и вытяжки, режущих инструментов (мелкие метчики, сверла, напильники, пилы и др.), работающих при небольших скоростях резания.

## **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Ознакомиться с теоретическими положениями и сделать конспект.

2. Просмотреть коллекцию микрошлифов с помощью металлографического микроскопа.

3. Определить содержания углерода в сталях, используя формулы (1) и (2).

4. По содержанию углерода определить марку сталей.

5. Используя приложения, определить химический состав, механические свойства и область применения каждой стали.

#### **4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Наименование и цель лабораторной работы.
2. Краткое изложение основных теоретических положений.
3. Результаты выполнения работы, сведенные в таблицу.

#### **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Дайте определения фаз в системе Fe – Fe<sub>3</sub>C.
2. Что такое углеродистые стали?
3. Что такое перлит?
4. Опишите структуру технического железа, доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной сталей.
5. Как определяют содержание углерода в сталях по микроструктуре?
6. Назовите постоянные примеси в углеродистых сталях.
7. Как влияет углерод и постоянные примеси на свойства сталей?
8. Как классифицируют стали по содержанию углерода?
9. Как классифицируют стали по степени раскисления?
10. Как маркируют углеродистые конструкционные стали?
11. Как маркируют углеродистые инструментальные стали?

#### **6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – Москва: Альянс, 2009. – 528 с.
2. Материаловедение: учебник для студентов вузов / под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 648 с.
3. Гуляев, А. П. Металловедение: учебник для вузов / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. – Москва: Альянс, 2011. – 644 с.
4. Марочник сталей и сплавов / под ред. В. Г. Сорокина. – Москва: Машиностроение, 1989. – 640 с.

5. Марочник сталей и сплавов / под ред. А. С. Зубченко. – Москва: Машиностроение, 2001. – 672 с.

6. ГОСТ 1435–99. Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2001. – 21 с.

7. ГОСТ 380–2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. – Москва: Стандартиформ, 2007. – 7 с.

8. ГОСТ 1050–2013.Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. – Москва: Стандартиформ, 2014. – 32 с.

9. ГОСТ 8233–56. Сталь. Эталоны микроструктуры. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 13 с.

### Оформление отчета

Номер шлифа	Микроструктура		Химический состав, %					Марка стали	Механические свойства			Область применения
	Рисунок	Название	С	Mn	Si	S	P		НВ	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	

Химический состав (ГОСТ 380–2005) и механические свойства горячекатаного проката  
из конструкционной углеродистой стали обыкновенного качества

Марка стали	Химический состав, %					Механические свойства		Область применения
	C	Mn	Si	S	P	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	
Ст0	$\leq 0,23$	–	–	$\leq 0,06$	$\leq 0,07$	$\geq 300$	23	Неответственные строительные конструкции, прокладки, шайбы
Ст1кп	0,06– 0,12	0,25– 0,90	$\leq 0,05$	не более 0,05	не более 0,04	300–390	35	Малонагруженные детали: заклепки, шайбы, прокладки, кожухи
Ст1пс	0,06– 0,12	0,25– 0,50	0,05– 0,15			310–410	34	
Ст1сп	0,06– 0,12	0,25– 0,50	0,15– 0,30			310–410	34	
Ст2кп	0,09– 0,15	0,25– 0,50	$\leq 0,05$			320–410	33	Детали металлоконструкций: рамы, оси, валики
Ст2пс	0,09– 0,15	0,25– 0,50	0,05– 0,15			330–430	32	
Ст2сп	0,09– 0,15	0,25– 0,50	0,15– 0,30			330–430	32	
Ст3кп	0,14– 0,22	0,40– 0,65	$\leq 0,05$			360–460	27	

Продолжение приложения 1

Марка стали	Химический состав, %					Механические свойства		Область применения
	С	Mn	Si	S	P	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	
Ст3сп	0,14– 0,22	0,40– 0,65	0,15– 0,30	не более 0,05	не более 0,04	370–480	26	Рамы, крюки кранов, кольца, цилиндры, крышки, цементируемые детали
Ст3Гпс	0,14– 0,22	0,80– 1,10	≤0,15			370–490	26	
Ст3Гсп	0,14– 0,20	0,80– 1,10	0,15– 0,30			390–570	26	
Ст4кп	0,18– 0,27	0,40– 0,70	≤0,05			400–510	25	Валы, оси, тяги, пальцы, крюки, болты, гайки при невысоких требованиях к прочности
Ст4пс	0,18– 0,27	0,40– 0,70	0,05– 0,15			410–530	24	
Ст4сп	0,18– 0,27	0,40– 0,70	0,15– 0,30			410–530	24	
Ст5сп	0,28– 0,37	0,50– 0,80	0,05– 0,15			490–630	20	Валы, оси, звездочки, крепежные детали при повышенных требованиях к прочности
Ст5сп	0,28– 0,37	0,50– 0,80	0,15– 0,30			490–630	20	
Ст5Гпс	0,22– 0,30	0,80– 1,20	≤0,15			540–590	20	
Ст6пс	0,38– 0,49	0,50– 0,80	0,05– 0,15			≥590	15	Валы, оси, муфты, цепи с высокой прочностью

Химический состав и свойства углеродистых качественных конструкционных сталей  
в нормализованном состоянии (ГОСТ 1050–88)

Марка стали	Химический состав, %					Механические свойства			Область применения
	C	Mn	Si	S	P	НВ	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	
						не более	не менее		
08	0,05–0,12	0,35–0,65	0,17–0,37	не более 0,040	не более 0,035	131	320	33	Шайбы, патрубки, прокладки
10	0,07–0,14	0,35–0,65				143	330	31	Шайбы, прокладки, трубы
15	0,12–0,19	0,35–0,65				149	370	27	Без ТО – болты, винты, крепеж. После ХТО – рычаги, кулачки
20	0,17–0,24	0,35–0,65				163	410	25	Без ТО – крюки кранов и муфты. После ХТО – шестерни, червяки
25	0,22–0,30	0,50–0,80				170	450	23	Без ТО – оси, валы, соединительные муфты. После ХТО – винты, втулки
30	0,27–0,35	0,50–0,80				179	490	21	Тяги, траверсы, рычаги, звездочки, шпиндели

Продолжение приложения 2

Марка стали	Химический состав, %					Механические свойства			Область применения
	C	Mn	Si	S	P	НВ	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	
						не более	не менее		
35	0,32–0,40	0,50–0,80	0,17–0,37	не более 0,040	не более 0,035	207	530	20	Оси, цилиндры, коленчатые валы, шатуны
40	0,37–0,45					217	570	19	Коленчатые валы, шатуны, зубчатые венцы, оси
45	0,42–0,50					229	600	16	Вал-шестерни, коленчатые и распределительные валы, шпиндели
50	0,47–0,55					241	630	14	Прокатные валки, штоки, оси, бандажи
55	0,52–0,60					255	650	13	Зубчатые колеса, муфты сцепления коробок передач
60	0,57–0,65					255	680	12	Колеса вагонов, диски сцепления, шпиндели



Химический состав и свойства углеродистых инструментальных сталей после отжига  
(ГОСТ 1435–99)

Марка стали	Химический состав, %					Механические свойства			Область применения
	C	Mn	Si	S	P	HВ	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	
				не более					
У7	0,65–0,74	0,17–0,33	0,17–0,33	0,028	0,030	187	650	Инструмент для обработки дерева: топоры, колуны, стамески	
У7А	0,65–0,74	0,17–0,28		0,018	0,025	187	650		
У8	0,75–0,84	0,17–0,33		0,028	0,030	187	650	Инструмент для обработки дерева: фрезы, зенковки, пилы продольные и дисковые. Слесарно-монтажный инструмент: отвертки, кернеры, плоскогубцы, кусачки	
У8А	0,75–0,84	0,17–0,28		0,018	0,025	187	650		
У8Г	0,80–0,90	0,33–0,58		0,028	0,030	187	650		
У8ГА	0,80–0,90	0,33–0,58		0,018	0,025	187	650		

не определяется ГОСТом

Продолжение приложения 3

Марка стали	Химический состав, %					Механические свойства			Область применения
	С	Mn	Si	S	P	НВ	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	
				не более		не более	не более		
У9	0,85–0,94	0,17–0,33	0,17–0,33	0,028	0,030	192	650	не определяется ГОСТом	Инструмент для обработки дерева: фрезы, зенковки, пилы продольные и дисковые. Слесарно-монтажный инструмент: отвертки, кернеры, плоскогубцы, кусачки
У9А	0,85–0,94	0,17–0,28		0,018	0,025	192	650		
У10	0,95–1,09	0,17–0,33		0,028	0,030	212	750		Инструмент для обработки дерева: пилы ручные, сверла спиральные
У10А	0,95–1,09	0,17–0,28		0,018	0,025	212	750		
У12	1,10–1,29	0,17–0,33		0,028	0,030	217	750		Метчики, напильники, шаберы и штамповый инструмент для холодной деформации
У12А	1,10–1,29	0,17–0,28		0,018	0,025	217	750		

Составители

Вячеслав Владиславович Драчев  
Константин Петрович Петренко

**МИКРОСТРУКТУРА, СВОЙСТВА И МАРКИРОВКА  
УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплинам  
«Материаловедение», «Основы материаловедения»  
для обучающихся технических направлений и специальностей

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 21.01.2021. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 30 экз. Заказ

Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр УИП Кузбасского государственного технического  
университета имени Т. Ф. Горбачева. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.